

Analisis Heat Loss pada Sistem Uap dan Performance Boiler Indomarine di PT. Eastern Pearl Flour Mills

Nur Fuada⁽¹⁾ dan Naim Hamid⁽²⁾

⁽¹⁾Dosen Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Makassar

⁽²⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muslim Makassar

e-mail : nurfuada.nonanu@gmail.com

Abstrak

Pada proses pembuatan pellet ini dibutuhkan uap panas yang dihasilkan dari mesin ketel uap atau boiler. Boiler atau ketel uap merupakan suatu alat penghasil uap panas yang di hasilkan dari proses pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui heat losses sepanjang pipa distribusi uap. Metode pada penelitian ini, yaitu pengumpulan data pada obyek penelitian yang terdapat pada dokumen kontrol PT. Eastern Pearl Flour pada sistem distribusi pipa terutama sebagai penyuplai uap pada proses pembuatan produk pellet. Dari hasil analisa data pada penelitian ini, menemukan bahwa energi panas uap yang dihasilkan Boiler Indomarine (E_{st}) mengalami kenaikan, diawali dari (tahun 2018) sebesar 32,58 KW, (tahun 2019) sebesar 32,68 KW dan (tahun 2020) sebesar 33,09 KW sedangkan Heat losses pada jalur pipa distribusi uap rata-rata sebesar 66,2 kW. Dengan hasil perhitungan yang dilakukan maka terlihat bahwa dari 100 % energi bahan bakar dapat menghasilkan energi uap yang berguna sekitar 2334311 kJ/Jam. Begitu pula dengan kesetimbangan massa fluida kerja yang terjadi, laju massa air umpan yang terpakai sebesar 1126,35 kg/jam, laju massa uap yang dihasilkan sebesar 934,35 kg/jam. Sedangkan sisanya dibuang melalui blow down sebesar 192 kg/jam.

Kata Kunci : Boiler, Heat Losses, Kesetimbangan

A. PENDAHULUAN

Pabrik PT. Eastern Pearl Flour Mills merupakan salah satu industri tepung terigu dan pellet yang berada di dikota Makassar. Dalam proses produksinya selain memproduksi tepung terigu juga memproduksi pellet. Pada proses pembuatan pellet ini dibutuhkan *uap panas* yang dihasilkan dari mesin ketel uap atau boiler. Boiler atau ketel uap merupakan suatu alat penghasil uap panas yang di hasilkan dari proses pembakaran. Uap panas yang dihasilkan pada proses pembakaran memiliki suhu dan tekanan tertentu yang dapat dimanfaatkan untuk suatu proses produksi. Uap panas yang dihasilkan setelah proses pembakaran akan

dialirkan melalui pipa dan digunakan untuk proses pembuatan pellet. Perjalanan uap panas dari outlet uap panas hingga digunakan untuk proses pembuatan pellet akan terjadi proses perpindahan panas dari suhu uap panas ke lingkungan, sehingga akan terjadi perbedaan suhu uap panas dari outlet uap panas hingga ke proses pembuatan pellet dan juga uap yang kembali ke sistem. Terjadinya proses perpindahan panas yang terjadi dari pipa yang menghubungkan outlet uap panas hingga menuju proses produksi pellet ke lingkungan sangat merugikan, karena suhu uap panas yang ada di dalam pipa akan berkurang.

Distribusi uap menghubungkan antara produksi uap dan pengguna uap dan bertugas menjaga kualitas uap dengan mencegah hilang panas sehingga kondensasi uap dapat dikurangi. Tekanan uap berangsur turun karena hambatan aliran dan kondensasi. Berkurangnya suhu uap panas akan berakibat pada lama dan kualitas proses pembuatan pellet karena suhu uap panas telah berkurang akibat perjalanan dari outlet uap panas ke sistem mesin pellet. Penghematan Energi menjadi satu peluang besar untuk dapat dilakukan melalui peningkatan kinerja sistem distribusi uap.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1. Teori Dasar Perpindahan Panas

Perpindahan Panas Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi pada suatu bahan karena adanya perbedaan (gradien) Suhu. Perpindahan panas ini selalu terjadi dari suatu sistem bersuhu tinggi ke sistem lain yang bersuhu lebih rendah dan berhenti setelah kedua sistem mencapai temperatur yang sama, perbedaan temperatur merupakan syarat utama terjadinya perpindahan kalor, jika kedua sistem mempunyai temperatur yang sama maka tidak akan ada perpindahan kalor pada kedua sistem tersebut. Jumlah aliran panas dinyatakan dengan notasi Q dalam satuan energi yaitu joule (j).

Sedangkan laju aliran panas adalah aliran energy persatuan waktu (jam atau detik) dinyatakan dengan notasi Q (Q dot) pada umumnya dalam watt (W). Selain itu ada juga laju aliran panas per satuan luas (q dot) yang sering disebut fluks panas atau aliran panas spesifik. Harga Q dan q adalah suatu vektor yang arahnya berimpit dengan arah penyebaran panas. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari satu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu.

Terdapat tiga macam perpindahan panas, yaitu konduksi.

B.2. Perpindahan Kalor

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara, yang berupa api (yang menyala) dipindahkan kepada air, uap ataupun udara, melalui bidang yang dipanaskan pada suatu instalasi dengan cara:

1. Perpindahan kalor konduksi

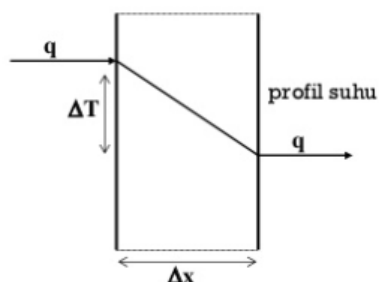
Perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dari suatu bagian benda ke bagian lain dari benda yang sama atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadi persinggungan fisik (kontak fisik yang menempel), tanpa terjadi perpindahan molekul-molekul dari benda itu sendiri. Contoh adalah panas yang berpindah dari permukaan bagian luar pipa ke permukaan bagian dalam pipa pada boiler.

Dari Hukum-Hukum Fourier 1822 yang ditemukan oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) didapatkan Persamaan Konduksi:

$$q_x = \frac{dT}{dx/kA} \dots\dots\dots (1)$$

$$q_x = k A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2)$$

- qx : Laju pindah panas dalam arah x (Watt ataucal/dt, atau Btu/jam)
- dT : Perbedaan temperatur (K, °C atau °F)
- dx : Jarak perpindahan panas (m, cm atau ft)
- A : Luas penampang (m^2 , cm^2 , atau ft^2)
- k : Konduktifitas panas (Watt/m.k, cal/dt.°C.cm, atau Btu/jam.°F.ft)



Gambar 1. Perpindahan Panas Konduksi Pada Plat

2. Perpindahan kalor konveksi

Perpindahan kalor konveksi adalah proses perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida dimana berlangsung melalui perantaraan pergerakan fluida (cair atau pun gas). Jadi, molekul-molekul fluida merupakan perantara yang membawa panas dari satu tempat ke tempat lain. Contoh adalah proses perpindahan panas dari gas bekas ke elemen economizer di dalam ketel.

Perpindahan kalor secara konveksi terbagi atas dua yaitu:

- a. Konveksi paksa yaitu bila gerakan molekul tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis (karena dipompa atau dihembus dengan *blower*).
- b. Konveksi bebas yaitu bila gerakan molekul-molekul yang melayang-layang karena perbedaan temperatur didalam fluida itu sendiri.

Perpindahan panas menyeluruh dari zat alir didalam pipa ke zat alir di luar pipa adalah

$$Q = \frac{T_g - T_{wt}}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi kl} + \frac{1}{h_o A_o}} \dots\dots\dots (3)$$

3. Perpindahan kalor radiasi

Radiasi adalah proses perpindahan panas melintasi ruang melalui pancaran gelombang elektromagnetik dengan kecepatan cahaya dari benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur rendah. Perpindahan panas secara radiasi pada ruang bakar pertukaran

radiasi antara gas dengan suatu permukaan. Contoh adalah proses perpindahan panas yang terjadi di dalam ruang bakar boiler ketika panas dari gas dipancarkan ke dinding ruang bakar (*wall tube*).

Menurut J.P Holman laju perpindahan panas radiasi gas pada ruang bakar dapat dihitung dengan cara :

$$\frac{q_{radiasi}}{A_R} = \epsilon_g (T_g) \sigma T^4 - \alpha_g (T_g) \sigma T^4 \dots (4)$$

Keterangan :

- Q = Laju perpindahan panas radiasi (kJ/h)
- ϵ = Emitans gas
- c = Konstantastefan-boltzmann dan diasumsikan = $[5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}]$
- A_T = Luas bidang yang dipanaskan (m^2)
- T_g = Temperatur gas ruangbakar (K)
- T_w = Temperatur dinding ruang bakar (K)

4. Boiler sebagai alat penghasil uap

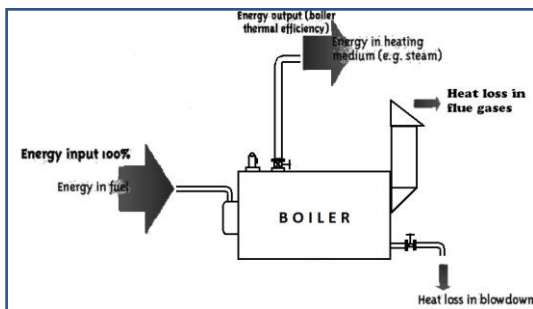
Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau uap panas. Air panas atau uap panas pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi uap panas, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Sistem boiler terdiri dari: sistem air umpan, sistem uap panas dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan uap panas. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem uap panas mengumpulkan dan mengontrol produksi uap panas dalam boiler. Uap panas

mengalir melalui sistem pemipaan ke mesin pellet. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap panas diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Boiler indomarine adalah jenis boiler pipa api dimana pada jenis boiler pipa api terjadi perpindahan panas dari gas panas menuju air kemudian airnya berubah menjadi uap. Hal ini dikarenakan gas panas hasil pembakaran (flue gas) mengalir melalui pipa-pipa yang bagian luarnya diselumuti air. Tipe boiler api memiliki karakteristik menghasilkan tekanan *steam* dan kapasitas yang rendah. Susunan pipa dalam ketel dibuat pass per pass, tujuannya agar perlindungan panas gas atau apu lebih efektif. Artinya arahnya bolak balik terhadap burnernya ketiga has panas melewati pipa-pipa dalam ketel.

Cara kerja dari boiler pipa api ini adalah di dalam pipa terjadi proses pengapian, kemudian panas yang dihasilkan dalam proses tersebut langsung dihantarkan ke dalam boiler yang berisi air.



Gambar 2. Diagram Energi dan *heat loss* pada boiler

Energi air umpan boiler dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{fw} = f_w x h_{fw} \dots\dots\dots 5)$$

Energi yang terbuang melalui *blow down* adalah:

$$E_{bd} = m_{bd} x \dots\dots\dots 6)$$

Energi uap yang dihasilkan oleh boiler adalah:

$$E_{st} = m_{st} x h_g \dots\dots\dots 7)$$

Energi bahan bakar adalah:

$$E_{bb} = m_{bb} x HHV \dots\dots\dots 8)$$

Jumlah bahan bakar yang yang digunakan per jam adalah :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{V_{bb}}{t} x \rho_{bb} \dots\dots\dots 9)$$

Kesetimbangan Energi boiler dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{bb} = Q_u + Q_{loss} \dots\dots\dots 10)$$

Dengan Q_{loss} adalah energi yang hilang, kJ/s

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1. Teknik Penelitian dan Pengambilan Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literature berupa buku atau jurnal yang membahas tentang efektifitas distribusi uap dan kinerja pada sistem kerja boiler. Metode studi literature pada penelitian ini, yaitu pengumpulan data teknik yang terkait dengan obyek penelitian yang ada pada dokumen kontrol PT. Eastern Pearl Flour Mills dan mempelajari berbagai skripsi, hasil penelitian, jurnal, berbagai artikel yang diperoleh dari internet yang berhubungan dengan *performance* uap pada sistem distribusi pipa terutama sebagai penyuplai uap pada proses berikutnya yaitu pembuatan sebuah produk yang dalam hal ini adalah pellet. Termasuk juga makalah ilmiah dan sumber bacaan lain yang menunjang penelitian dan masalah yang akan dibahas.

C.2. Teknik Analisa Data Teknik

Analisa data menggunakan teknik deskriptif berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan. Data yang diperoleh dari hasil penelitian di lapangan kemudian dianalisis menggunakan rumus perpindahan panas untuk mencari kehilangan panas konduksi, konveksi, radiasi, menganalisa energi panas pada setiap titik pada instalasi boiler termasuk distribusi uapnya dengan mengetahui berapa besar laju aliran massa yang kemudian dapat diketahui berapa besaran energi panasnya berdasarkan entalpi setiap kondisi dan selanjutnya menyimpulkan hasil analisa data tersebut untuk mengetahui permasalahan yang terjadi. Evaluasi hasil perhitungan yang diperoleh sebagai salah satu masukan dan rekomendasi langkah perbaikan efisiensi dari sistem distribusi uap.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1. Hasil Perhitungan

1. Performance Boiler

Boiler Indomarine F-20L adalah boiler dengan 3 pass *flue* gas yang di design dengan baik yang bertransformasi untuk meminimilasi kehilangan panas karena temperature gas hasil pembakaran yang menuju outlet. Untuk menyederhanakan dalam perhitungan, model dibuat dalam 3 sketsa dengan asumsi sebagai berikut.

- Energi kinetik dan energi potensial didalam sistem diabaikan.
- Nilai laju aliran *steam* dan *feedwater* yang terbuang di sistem *blowdown* dianggap nol.
- Proses pembakaran di boiler dioperasikan secara adiabatik.
- Flue gas* dan *heat product* dimodelkan sebagai gas ideal. Dengan temperatur lingkungan T_0 ($T_0 = 25^\circ\text{C}$)

2. Menghitung Neraca Massa Produksi Uap

Pada awal perhitungan ini, kita akan menghitung distribusi uap pada sistem distribusi uap dari boiler melalui jaringan pipa uap dan kemesin pallet sampai pengembalian uap ke tangki *feed water*. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan pada sistem uap boiler Indomarine, maka dipeoleh data pengukuran sebagai berikut:

- Laju massa air softener ($\dot{m}_{softener}$) = 982,5 kg/jam
- Laju massa air umpan boiler pada deaerator tank (\dot{m}_{fw}) = 1126,355 kg/jam
- Laju massa *blow down* boiler (\dot{m}_{bd}) = 192 kg/jam

Sehingga dalam perhitungan penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan kesetimbangan massa pada setiap komponen pada boiler sistem dan pada jalur distribusi uap.

- Tangki air umpan/ Feed Water Tank

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_{softener} + \dot{m}_{10}$$

$$1033,02 \text{ kg/jam} = 982,5 \text{ kg/jam} + \dot{m}_{10}$$

$$\dot{m}_{10} = 1033,02 \text{ kg/jam} - 982,5 \text{ kg/jam}$$

$$= 50,52 \text{ kg/jam}$$
- Tangki Daerator

Laju aliran massa pada tangki daerator:

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{fluida\ dari\ sistem\ pellet}$$

$$1126,35 \text{ kg/jam}$$

$$= 1033,02 \text{ kg/jam} + \dot{m}_{fluida\ dari\ sistem\ pellet}$$

$$\dot{m}_{fluida\ dari\ sistem\ pellet}$$

$$= 1126,35 \text{ kg/jam} - 1033,02 \text{ kg/jam}$$

$$= 93,33 \text{ kg/jam}$$
- Boiler

Laju massa uap yang diproduksi oleh boiler adalah:

$$\dot{m}_{st} = \dot{m}_{fw} - \dot{m}_{bd} \quad ; \quad \text{dimana}$$

$$\dot{m}_{fw} = \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_4 - \dot{m}_{bd}$$

$$= 1126,35 \text{ kg/jam} - 192 \text{ kg/jam}$$

$$= 934,35 \text{ kg/jam}$$

4. Header Boiler
Keseimbangan massa pada header boiler

$$\begin{aligned}\dot{m}_6 &= \dot{m}_5 - \dot{m}_{\text{drain}} \\ &= 934,35 \text{ kg/jam} - 46,44 \text{ kg/jam} \\ &= 887,91 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

5. Header pellet

$$\begin{aligned}\dot{m}_7 &= \dot{m}_6 - \dot{m}_{\text{steam strap}} \\ \dot{m}_7 &= 887,91 \text{ kg/jam} - 46,44 \text{ kg/jam} \\ &= 841,47 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

6. Mesin Pellet

Keseimbangan massa pada mesin pellet

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{uap terpakai produk pellet}} &= \dot{m}_7 - \dot{m}_{\text{fluida kembali ke sistem boiler (m}_8)} \\ &= 841,47 \text{ kg/jam} - 94,06 \text{ kg/jam} \\ &= 747,41 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

7. Tangki Pengumpul Kondensat
Menghitung laju aliran massa pada tangki pengumpul kondensat

- Dimensi Tangki air umpan
 $= (P \times L \times T)$
 $= 600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \times 800 \text{ mm}$
 $= 288.000.000 \text{ mm}^3 = 0,288 \text{ m}^3$
- Laju volume kondensat yang terkumpul pada tangki air umpan (V_{act}) = $0,050 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Laju aliran massa drain tangki (m_{drain}) = 2 kg/ am
- Massa jenis air (ρ_{air}) = 1.000 kg/m^3

Laju aliran massa kondensat menuju tangki pengumpul kondensat adalah :

$$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10} + \dot{m}_{\text{drain}}$$

$$\dot{m}_{\text{bct}} = \dot{m}_{\text{act}} + \dot{m}_{\text{drain}}$$

Dimana,

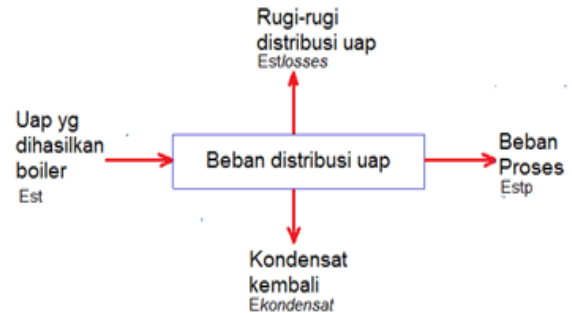
$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{act}} &= V_{\text{act}} \times \rho_{\text{air}} \\ &= 0,050 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1.000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 50 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{bct}} &= \dot{m}_9 = \dot{m}_{\text{act}} + \dot{m}_{\text{drain}} \\ &= 50 \text{ kg/jam} + 2 \text{ kg/jam} \\ &= 52 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

D.2. Menghitung Beban distribusi

Kemudian untuk menentukan keseimbangan energi pada beban distribusi uap adalah:



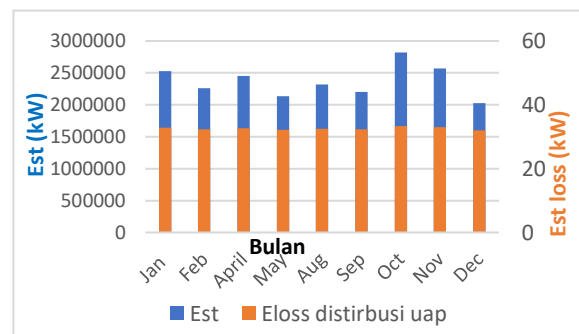
Gambar 3. Keseimbangan energi pada beban distribusi

1. Pembahasan

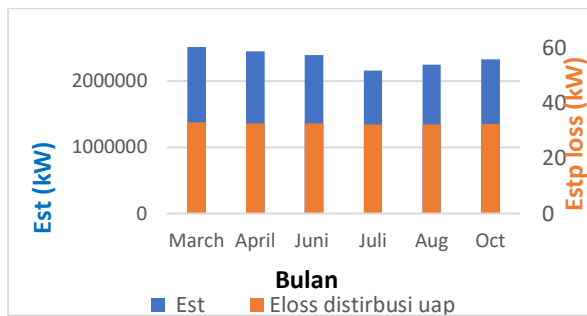
Boiler Indomarine di *PT. Eastern Pearl flour Mills* tidak selalu berjalan setiap bulan, namun akan berjalan sesuai jadwal dan kondisi *performance* boiler Indomarine. Jika Boiler Indomarine tidak beroperasi maka Boiler lain yaitu Boiler Cochran akan beroperasi.

a. Besaran Heat Losses pada jaringan pipa distribusi.

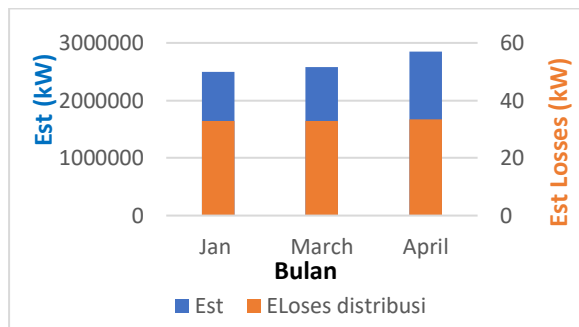
Jika dilihat dari perbandingan antara Nilai Energi panas uap yang dihasilkan Boiler Indomarine (E_{st}) dengan kehilangan uap panas pada instalasi distribusi pipa uap. Besaran kehilangan uap pada distribusi uap pada tahun 2018 sampai dengan tahun 2020 terlihat pada Gambar 4 sampai 6 dibawah ini :



Gambar 4. Est Vs Eloss uap distribusi tahun 2018



Gambar 5. Est Vs Eloss uap distribusi tahun 2019



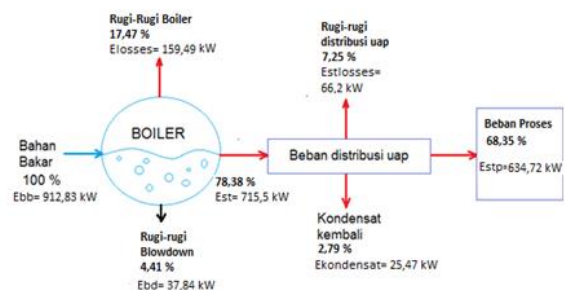
Gambar 6. Est Vs Eloss uap distribusi tahun 2020

Dari Gambar 7 memperlihatkan bahwa semakin besar produksi uap yang dihasilkan boiler indomarine maka besar energi yang hilang pada jalur pipa distribusi uap rata-rata sebesar 66,2 kW. Hal ini disebabkan karena beberapa pipa distribusi uap yang isolasinya rusak dan belum diperbaiki, Kemudian beberapa kebocoran masih terlihat pada beberapa titik terutama pada area bawah silo pellet dan header sehingga tekanan menjadi turun, yang secara langsung menyebabkan temperature uap yang terdistribusi juga turun. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya kondensat dan terganggunya kualitas uap yang diperlukan oleh mesin pellet. Perpipaian steam dianjurkan mengikuti kaidah perpipaian uap yang layak dengan memperhatikan kualitas uap tetap kering.

b. Keseimbangan energi untuk melihat neraca uap yang dimanfaatkan.

Berdasarkan hasil perhitungan kesetimbangan energi pada instalasi boiler indomarine, bahwa Energi bahan bakar

(E_{bb}) adalah 912,83 kW, Energi *blowdown* (E_{bd}) sebesar 37,84 kW dan Energi uap yang dihasilkan boiler (Est) sebesar 715,5 kW. Sehingga diperoleh Energi losses dari operational sistem boiler sendiri adalah sebesar 59,49 Kw . Energi yang dihasilkan oleh boiler adalah energi yang dikeluarkan oleh bahan bakar solar, hal ini disebabkan karena adanya kehilangan pada pipa cerobong asap, kehilangan panas pada dinding boiler, dan kehilangan pada proses *blow down* boiler. Berikut ini akan diperlihatkan neraca kesetimbangan energi pada jalur distribusi uap yang dihasilkan oleh boiler indomarine.



Gambar 7. Gambar neraca energi yang memanfaatkan sistem uap

E. KESIMPULAN DAN SARAN

E.1. Kesimpulan

Setelah memperhatikan hasil analisa perhitungan dan pembahasan pada penelitian ini, maka kita dapat menyimpulkan berbagai hal antara lain adalah:

1. Dalam tiga tahun terakhir, energi uap yang dihasilkan Boiler mengalami kenaikan sebesar 32,58 KW(tahun 2018), sebanyak 32,68 KW (tahun 2019) dan sebesar 33,09 KW (tahun 2020) sedangkan *Heat loses* pada jalur pipa distribusi uap rata-rata sebesar 66,2 kW.
2. Dengan hasil perhitungan yang dilakukan maka terlihat bahwa dari 100 % energi bahan bakar dapat menghasilkan energi uap yang berguna sekitar 2334311 kJ/Jam. Begitu pula dengan kesetimbangan massa fluida kerja yang terjadi, laju massa air umpan

yang terpakai sebesar 1126,35 kg/jam, laju massa uap yang dihasilkan sebesar 934,35 kg/jam. Sedangkan sisanya dibuang melalui *blow down* sebesar 192 kg/jam.

E.2. Saran

Adapun saran yang disampaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memanfaatkan kondensat ke tangki air umpan boiler.
2. Pemilihan operasai boiler sesuai dengan beban produksi.
3. Agar dapat menggunakan steam separator dan mengurangi banyaknya belokan dan perbaikan isolasi pada jalur distribusi uap.

DAFTAR PUSTAKA

- James W. Daily, dan Donald R. F. Harleman, *Fluid Dynamics*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc, Reading, Massachusetts, U. S. A. Addison- Wesley (Canada) Limited, Don Mills, Ontario, 1965.
- Ir. M. J. Djokosetyardjo, *Ketel Uap*, Cetakan keenam, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2006.
- M. M. El-Wakil, *Power Plant Technology*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1985.
- Adrian Bejan, George Tsatsaronis, dan Michael Moran, *Thermal Design and Optimization*, A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, INC, New York, United State of America, 1996.
- Effendy Arif, *Thermodinamika Teknik*, Membumi Publishing, Makassar, Indonesia 2012
- Frank M. White, *Mekanika Fluida*, Jilid Satu, Erlangga, Jakarta, 1994.
- Training Manual, *Water Treatment Plant & Boiler water Treatment*, PT. GapuraBakti Nusa, Jakarta, 2004.
- Spengler Manalu, *Training Boiler Water Treatment*, PT. ZI -Tech Asia, Surabaya, 2013.
- SpiraxSarco, *Distribution Steam*, www.spiraxsarco.com
- Muntolib & Rusdiyantoro (2014). *Analisa Bahan Isolasi Pipa Saluran Uap Panas Pada Boiler Untuk Meminimalisasi Heat Loss*. Jurnal Teknik WAKTU Volume 12 Nomor 02 – Juli 2014 – ISSN : 1412-1867.
- SpiraxSarco, *Steam Utilization Book*, Design of Fluid System .
- Cengel, Y. A. (2002). *Heat Transfer a Partical Approach with EES CD*, New York : McGraw-Hill Science Engineering.
- Holman, J. P. (1997). *Perpindahan Kalor*, Jakarta :PenerbitAirlangga.
- ASME Code for Pressure Piping, *B31 ASME B31.4-2002* (Revision of ASME B31.4-1998), (2002), Process Piping, The American Society of Mechanical Engineers, USA, October, pp. 14.
- Frank Kreith, 1997, *Prinsip Perpindahan Panas*, edisi 3, Erlangga, Jakarta.
- Holman J.P., 1984, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta.
- Kreith, Frank. *The CRC Handbook of Thermal Engineering*. 2000.
- Muntolib dan Rusdiyantoro, 2014, *Analisa Bahan Isolasi Pipa Saluran Uap Panas Pada Boiler Untuk Meminimalisasi Heat Loss*, Jurnal Teknik Waktu, No. 02, Vol. 12, Hal. 50-56.
- Somantri G.R., 2005, *Memahami Metode Kualitatif*, Makara, Sosial Humaniora, No. 02, Vol.9, Hal. 57-65.
- J. Moran, Howard N. Shapiro. *Fundamental of Engineering Thermodynamics 5th Edition*. 2006.
- UNEP Energy Efficiency Guide for Industry in Asia, *Steam Distribution and utilization*, www.energyefficiencyasia.org/energyequipment.
- Winanti, W.S, 2006, *Distribusi Steam dan Penggunaan & Isolasi*, Pelatihan Produksi Bersih untuk Effisiensi Energi.